

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002183228 A**

(43) Date of publication of application: **28.06.02**

(51) Int. Cl

**G06F 17/50**  
**G06T 17/00**

(21) Application number: **2001312623**

(22) Date of filing: **10.10.01**

(30) Priority: **10.10.00 US 2000 686720**

(71) Applicant: **INTERNATL BUSINESS MACH  
CORP <IBM>**

(72) Inventor: **HORN WILLIAM P  
VALUYEVA JULIA ANATOLYEVNA  
KLOSOWSKI JAMES T  
SUITS FRANK  
LECINA GERARD**

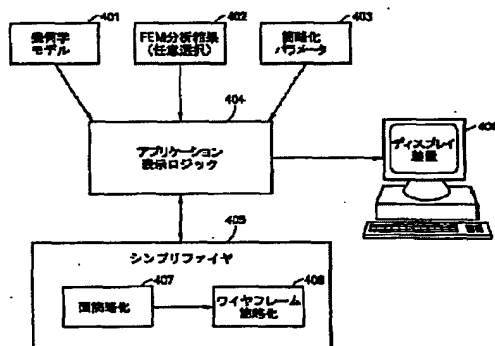
**(54) SYSTEM AND METHOD FOR SIMPLIFYING  
SURFACE DESCRIPTION AND WIRE-FRAME  
DESCRIPTION OF GEOMETRIC MODEL**

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method for using results obtained from a finite element analysis in order to guide surface simplification.

**SOLUTION:** A system simplifies a geometric model in order to accelerate the rendering of a geometric mode. The surface description of the geometric model is stored in one or a plurality of system memories. The wire-frame description of the geometric model is also stored. The surface description is changed by a surface simplification process, and the approximation of the original surface description is prepared. The simplified surface is draped with the wire-frame description by a wire frame draping process, one or a plurality of draped line segments are simplified, and the simplified line segments and the simplified surface description are subjected to rendering to a display device.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-183228  
(P2002-183228A)

(43) 公開日 平成14年6月28日 (2002.6.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	デマコード* (参考)
G 0 6 F 17/50	6 2 4	G 0 6 F 17/50	6 2 4 F 5 B 0 4 6
G 0 6 T 17/00		G 0 6 T 17/00	5 B 0 8 0

審査請求 有 請求項の数 11 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-312623 (P2001-312623)

(22) 出願日 平成13年10月10日 (2001.10.10)

(31) 優先権主張番号 0 9 / 6 8 6 7 2 0

(32) 優先日 平成12年10月10日 (2000.10.10)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシー  
ズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSIN  
ESS MACHINES CORPO  
RATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州  
アーモンク (番地なし)

(72) 発明者 ウィリアム・ビー・ホーン

アメリカ合衆国10583 ニューヨーク州ス  
カースデール バリー・ロード 27

(74) 代理人 100086243

弁理士 坂口 博 (外2名)

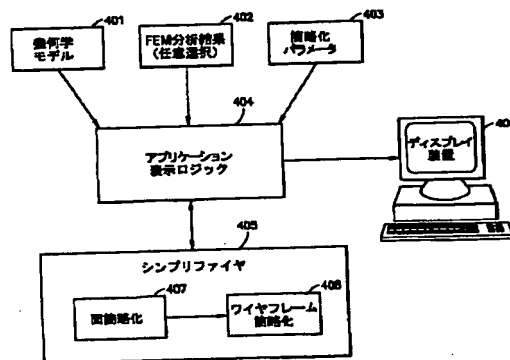
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 幾何学モデルの面記述およびワイヤフレーム記述の調整された簡略化のシステムおよび方法

(57) 【要約】

【課題】 面の簡略化を案内するのに有限要素分析から得られた結果を使用する方法を提供すること。

【解決手段】 システムが、幾何学モデルのレンダリングを加速するために幾何学モデルを簡略化する。幾何学モデルの面記述を、1つまたは複数のシステム・メモリに保管する。幾何学モデルのワイヤフレーム記述も保管する。面簡略化プロセスによって、面記述を変更して、元の面記述の近似を作成する。ワイヤフレーム・ドレーピング・プロセスによって、ワイヤフレーム記述を簡略化された面にドレーピングし、ドレーピングされた線分の1つまたは複数の簡略化し、簡略化された線分および簡略化された面記述を、ディスプレイ装置にレンダリングする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】幾何学モデルのレンダリングを加速するコンピュータ・システムであって、

1つまたは複数の中央処理装置（CPU）、1つまたは複数のメモリ、および1つまたは複数のレンダリング装置と、

前記メモリの1つまたは複数の保管される前記幾何学モデルの面記述と、

前記メモリの1つまたは複数の保管される前記幾何学モデルのワイヤフレーム記述と、

簡略化された面記述を作成するために前記面記述の近似を作成するために前記面記述を変更する面簡略化プロセスと、

簡略化されたワイヤフレーム記述を作成するために、前記簡略化された面記述に前記ワイヤフレーム記述をドレーピングし、その後、前記ドレーピングされたワイヤフレーム記述の1つまたは複数の線分を簡略化する、ワイヤフレーム・ドレーピング・プロセスと、

前記簡略化されたワイヤフレーム記述をレンダリングするディスプレイを含むコンピュータ・システム。

【請求項2】前記ワイヤフレーム記述が、有限要素メッシュ内の要素の1つまたは複数の辺と、表面法線、テクスチャ座標、および色という属性のうちの1つまたは複数の辺にまたがる属性の不連続性を強調する1つまたは複数の辺とのうちの1つまたは複数の表す、請求項1に記載のシステム。

【請求項3】前記面簡略化プロセスが、ガーランドおよびヘックバートの方法、ロシニャックおよびボレルの方法、リンドストロムおよびタークの方法、リンドストロムの方法、および幾何学的簡略化プロセスの1つまたは複数の含む、請求項1に記載のシステム。

【請求項4】前記面簡略化プロセスが、フリッジ・モード表示で使用する1つまたは複数の属性によって制限される、請求項1に記載の方法。

【請求項5】前記ワイヤフレーム・ドレーピング・プロセスが、前記面記述の前記簡略化中の1つまたは複数の辺縮約に関連する頂点識別を追跡することによって加速される、請求項1に記載のシステム。

【請求項6】前記簡略化されたワイヤフレーム記述および前記簡略化された面記述が、前記ディスプレイ上に一緒にレンダリングされる、請求項1に記載のシステム。

【請求項7】幾何学モデルのレンダリングを加速する方法であって、

前記幾何学モデルの面記述を保管するステップと、

前記幾何学モデルのワイヤフレーム記述を保管するステップと、

簡略化された面記述を作成するために前記面記述を近似するステップと、

前記簡略化された面記述に前記ワイヤフレーム記述をドレーピングするステップと、

簡略化されたワイヤフレーム記述を作成するために、前記ドレーピングされたワイヤフレーム記述の1つまたは複数の線分を簡略化するステップとを含む方法。

【請求項8】前記簡略化されたワイヤフレーム記述をレンダリングするステップをさらに含む、請求項7に記載の方法。

【請求項9】各々の頂点に付随する1つまたは複数の三角形の上だけへの前記ワイヤフレーム記述の1つまたは複数の頂点の射影を評価するステップをさらに含む、請求項7に記載の方法。

【請求項10】幾何学モデルのレンダリングを加速するコンピュータ・システムであって、

前記幾何学モデルの面記述を保管するための手段と、

前記幾何学モデルのワイヤフレーム記述を保管するための手段と、

簡略化された面記述を作成するために前記面記述を近似するための手段と、

前記簡略化された面記述に前記ワイヤフレーム記述をドレーピングするための手段と、

簡略化されたワイヤフレーム記述を作成するために、前記ドレーピングされたワイヤフレーム記述の1つまたは複数の線分を簡略化するための手段とを含むシステム。

【請求項11】コンピュータ・プログラムであって、該プログラムが、

幾何学モデルの面記述を保管するステップと、

前記幾何学モデルのワイヤフレーム記述を保管するステップと、

簡略化された面記述を作成するために前記面記述を近似するステップと、

前記簡略化された面記述に前記ワイヤフレーム記述をドレーピングするステップと、

簡略化されたワイヤフレーム記述を作成するために、前記ドレーピングされたワイヤフレーム記述の1つまたは複数の線分を簡略化するステップとをコンピュータに実行させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、コンピュータ・グラフィックスの分野に関する。より詳細には、本発明は、表示のための幾何学モデルの簡略化に関する。

【0002】

【従来の技術】メカニカル計算機援用設計（MCAD）の分野では、時々、幾何学モデルが、ワイヤフレーム記述と面記述によって同時に表現される。たとえば、図2のように、モデルを、面記述を使用して面をレンダリングし、ワイヤフレーム記述を使用して明瞭な辺を示すことによって表示することができる。幾何学モデルの面記述およびワイヤフレーム記述の同時使用は、MCADの他の分野での表示のためにも使用される。そのような分野の1つが、幾何学モデルに対する数値分析の適用であ

る。

【0003】数値方法は、多様な課せられた環境に対する幾何学モデルの応答をシミュレートするのに頻繁に使用される。有限要素法と称する一般的な数値方法の1つでは、幾何学モデルが、有限要素と称するサブディビジョンのアセンブリによって表現される。有限要素は、ノードと称する点位置で相互接続される。有限要素内では、依存変数の値が、要素のノードでの依存変数の値によって完全に決定される。実世界の問題をシミュレートするための有限要素法の使用を、一般に、有限要素分析と称する。有限要素のアセンブリを、有限要素メッシュと称する。有限要素メッシュは、元の現実のまたは抽象的な幾何学モデルの代替表現として働く。

【0004】有限要素メッシュおよび1つまたは複数の計算結果のグラフィカル表現を使用して、有限要素分析から得られた解を検査することが一般的に実践されている。3次元ユークリッド空間に埋め込まれた2次元または3次元の要素からなる有限要素メッシュの場合、グラフィカル表現を使用して、有限要素メッシュの構造、有限要素メッシュ（または幾何学モデル）の面、および解構成要素のスカラ大きさを同時に通信することができる。この場合、ポリゴン（通常は3角形）を使用して、メッシュの面を表し、線分を使用して、個々の要素の境界を表し、色を使用して、解構成要素（たとえば温度）のスカラ大きさを表す。通常、グラフィカル結果は、面レンダリングを線分レンダリングと組み合わせることによって得られる。面レンダリングは、メッシュ面を表すのに使用され、スカラ大きさは、解構成要素を表すか、解構成要素から導出される。シェーディングは、シェーディング・アルゴリズムを適用することによって実行される。これらのシェーディング・アルゴリズムでは、入力として、メッシュ面の幾何形状および解構成要素のスカラ大きさから導出された色を使用する。線分レンダリングは、有限要素メッシュの個々の有限要素の辺から生成される。解構成要素のスカラ大きさは、頻繁に、帯状のカラー・マップから選択された単一の色によって表される。帯状のカラー・マップは、単一の色を用いてスカラ値の連続する範囲を表すことができる。最終的なレンダリングは、通常は、2つの形態の1つになる。アイソ・モードと称する1つのレンダリング・モードは、ノードに結び付けられたスカラ値を表すのに使用され、あるスカラ値を表す色から別のスカラ値を表す色への有限要素内の遷移が可能である。フリンジ・モードと称するもう1つのレンダリング・モードは、メッシュの2次元表面に結び付けられたスカラ値を表すのに使用される。フリンジ・モードでは、スカラ値に対応する1つの色を使用して表面を表す。

【0005】幾何学モデルの面記述を視覚化する既存の技法のほとんどで、三角形メッシュが使用される。三角形メッシュの幾何形状は、対（K、V）を指し、このK

は、メッシュ単体の接続性を指定する度数2の単体複体であり、 $V = \{v_i, \dots, v_m\}$  は、 $R^3$ のメッシュの形状を定義する頂点 $v_i = (x_i, y_i, z_i)$ の組である。FEMアプリケーションには、メッシュの表面に関連する離散スカラ属性Dまたはメッシュの頂点に関連するスカラ属性Sのいずれかがある。FEM分析では、モデル記述に、幾何学モデルのワイヤフレーム記述（有限要素メッシュ）も含まれる。ワイヤフレーム記述は、部分複体 $L \subseteq K$ によって表され、ここで、Lは、Kの度数1の部分複体である。視覚化タスクは、3つ組（K、L、V）もしくは4つ組（K、L、V、D）（フリンジ・レンダリング・モードの場合）または（K、L、V、S）（アイソ・レンダリング・モードの場合）の1つのいずれかをレンダリングすることである。たとえば、図2は、ある3つ組（K、L、V）の視覚化である。

【0006】視覚化に含まれるグラフィカルな詳細は、必ずしも表示に必要ではない。さらに、グラフィカルな詳細を減らして、必要なグラフィックス処理を減らすことによって表示速度を高めることができる。幾何形状の詳細を犠牲にすることによるグラフィックス処理の量の削減および表示速度の向上を目指すさまざまな簡略化技法が、文献に記載されている（たとえば、ガーランド（Garland）およびヘックバート（Heckbert）共著、「Survey of Polygonal Surface Simplification Algorithms」、Multiresolution Surface Modeling Course, SIGGRAPH-97を参照されたい）。これらの簡略化技法では、元の幾何学モデルより低いレベルの幾何形状詳細を含む表現をレンダリングすることによって、グラフィックス処理を減らしてフレーム・レートを高める。レンダリングされたモデルのスクリーン空間でのサイズ、視点からの距離、モデルの相対的な重要性、要求されたフレーム・レート、視点とモデルの間の相対移動などの要因が、元のモデルの簡略化された表現の選択に使用される。これらの技法のすべてで、レンダリングされた時に元のモデルのレンダリングに対するできる限り高いイメージ忠実度を維持する簡略化されたモデルを作ることが試みられる。

【0007】メッシュの簡略化に対処する複数の技法が存在する。ほとんどの手法では、初期メッシュが、視覚的に似た結果をもたらす、より少数の面を用いる近似によって置換され、これによって、レンダリング効率が改善される。ロシニャック（Rossignac）およびボレル（Borrel）（「Multi-resolution 3D approximations for rendering complex scenes」、Modeling in Computer Graphics、第455ないし465ページ、（Springer-Verlag、1993年）および米国特許第5448686号明細書）が、初期の簡略化アルゴリズムの1つを提案した。彼らのアルゴリズムでは、モデルが、均一な長方形グリッドのセルに分割され、グリッド・セル内のすべての頂点が、単一の代表的な頂点によって置換される。

【0008】辺縮約動作が、簡略化で広範囲に使用されており、これによって、一般に、より高品質の結果がもたらされる。ガーランド (Garland) およびヘックバート (Heckbert) (「Surface simplification using quadric error metrics」、Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1997年、第209ないし216ページ) では、元のモデルの表面までの自乗距離を追跡できるようにする4行4列の対称行列が、各頂点で維持される。彼らは、その後、2次誤差測定基準を一般化して、色およびテクスチャを有する面の簡略化をサポートした (「Simplifying surfaces with color and texture using quadric error metrics」、IEEE Visualization '98 Proceedings, 1998年10月、第263ないし269ページ)。リンドストロム (Lindstrom) およびターク (Turk) (「Fast and memory efficient polygonal simplification」、IEEE Visualization '98 Proceedings, 1998年10月、第279ないし286ページ) では、辺縮約のコストが体積関数および境界関数によって決定される、2次の体積目標関数、境界目標関数および三角形形状目標関数を最小化することによって頂点置換が決定される。リンドストロム (Lindstrom) (「Out-of-core simplification of large polygonal models」、Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 2000年、第259ないし262ページ) は、2次誤差測定基準を使用して、均一なグリッド内の各セルの代表的な頂点を選択することによって、ロシニャックおよびボレルの頂点クラスタ化方式を拡張する方法を提案した。

#### 【0009】

【発明が解決しようとする課題】幾何学モデルのワイヤフレーム記述と面記述を同時に表示する標準技法が存在する。しかし、幾何学モデルの複雑が高まるにつれて、面記述およびワイヤフレーム記述を伝えるためにレンダリングする必要があるポリゴンおよび線分の数が増え、コンピュータが対話的観察に必要な速度 (3ないし30Hz) で視覚化をレンダリングすることがますます困難になる。従来技術の技法の使用は、対話的フレーム・レートを高めるための面記述の簡略化に対処するための幾何学的簡略化から明白である。いくつかの辺を保存しながら幾何学モデルの面記述を簡略化する標準技法も存在する。しかし、幾何学モデルの簡略化された面記述を使用して、モデルのワイヤフレーム記述を簡略化する、従来技術の技法は存在しない。さらに、従来技術では、表示のフリッジ・モードを使用して結果を表示する時に、幾何学モデルに結び付けられた計算結果を使用して、簡略化プロセスを案内するという問題が考慮されていない。

【0010】本発明の目的は、ワイヤフレーム記述の簡略化を案内するのに面記述の簡略化を使用することによる、幾何学モデルの面記述およびワイヤフレーム記述の

加速されたレンダリングのシステムおよび方法である。

【0011】本発明の目的は、面の簡略化を案内するのに有限要素分析から得られた結果を使用する方法である。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、幾何学モデルのレンダリングを加速するために幾何学モデルを簡略化するシステムである。幾何学モデルの面記述を、1つまたは複数のシステム・メモリに保管する。幾何学モデルのワイヤフレーム記述も保管する。面簡略化プロセスによって、面記述を変更して、元の面記述の近似を作成する。ワイヤフレーム・ドレーピング・プロセスによって、ワイヤフレーム記述を簡略化された面にドレーピングし、1つまたは複数のドレーピングされた線分を簡略化し、ドレーピングされた線分は、レンダリング装置上の簡略化された面にレンダリングされる。

#### 【0013】

【発明の実施の形態】図1は、本発明を実施する通常の実施形態の概要を示すブロック図である。コンピュータ101に、1つまたは複数の幾何学モデルが保管されるメモリ104が含まれる。CPU102が、内部バス105を介してモデルにアクセスし、グラフィックス・プロセッサ103がイメージをレンダリングし、入出力サブシステム106およびグラフィックス・アクセラレータ107を介してディスプレイ108に伝えるのを支援する。本発明は、1つまたは複数のネットワークを介して通信する図1のシステム上の実施形態とすることができる。

【0014】図2は、幾何学モデルの従来技術の表現である。これらのモデルおよびこれらのモデルを作成し表示する技法は、周知である。

【0015】図3ないし6に、通常の技法 (図3および図4) と本発明 (図5および図6) を使用して表示されたモデルを示す。元の自動車の面記述およびワイヤフレーム記述は、それぞれ、142988個の三角形および156632個の辺の有限要素からなる。

【0016】図3に、有限要素メッシュの三角形分割された面 (K、V) の従来技術のレンダリングを示す。この図および図5では、面記述の構造を示すために、三角形の境界がレンダリングされている。図4に、有限要素の従来技術の辺と共に同一の面のレンダリング (K、L、V) を示す。

【0017】図5では、元の有限要素メッシュ (図3) の面表現が簡略化され、三角形の数が35001個に減らされている。適当な従来技術の簡略化技法をどれでも使用することができる。たとえば、下の図8の説明を参照されたい。

【0018】図6では、有限要素の辺を形成する線分が、図5の簡略化された面にドレーピングされ、辺簡略化プロセスの助けを得て、辺の数が98146個に減ら

されている。図4（オリジナル）および図6（簡略後）のイメージ忠実度は匹敵し、三角形および辺の数の削減が、レンダリング時間のかかなりの短縮をもたらす。

【0019】図7に、本発明を実施する好ましいアプリケーションの概要を示す。幾何学モデル401、有限要素法分析の結果402（任意選択）、およびアプリケーション固有パラメータ403を与えられて、アプリケーション表示ロジック・ユニット404が、必要な簡略化レベルを判定する。シンプリファイヤ405には、面簡略化モジュール407および線分簡略化モジュール408が含まれる。簡略化の必要なレベルに基づいて、シンプリファイヤ405が、面記述およびワイヤフレーム記述の元の表現に対する近似を生成する。近似は、アプリケーション表示ロジック・ユニット404に送り返され、そこで、元の面記述およびワイヤフレーム記述を用いて達成できるものより高いフレーム・レートでディスプレイ装置406にレンダリングされる。本発明の鍵になる特徴の1つが、線分簡略化モジュール408の簡略化を案内するための面簡略化モジュール407の簡略化の使用である。

【0020】図8に、本発明の好ましい実施形態で実行される、幾何学モデルまたは有限要素メッシュの面記述およびワイヤフレーム記述の調整された簡略化の詳細を示す。シンプリファイヤ405は、ステップ505、506、および507の組み合わせられた機能性を表す。幾何学モデルまたは有限要素メッシュの面記述およびワイヤフレーム記述503が、幾何学モデル501、有限要素メッシュ510、またはその両方から抽出される。ステップ502で（任意選択の）有限要素分析が実行される場合には、ステップ509で、色属性を、幾何学モデルまたは有限要素メッシュの面記述およびワイヤフレーム記述503の面記述に写像することができる。解構成要素スカラおよびカラー・マップは、ステップ504で、ユーザまたはプロセスによって選択される。解構成要素スカラは、511および有限要素メッシュ510からのパラメータ入力に基づいて、ステップ502の有限要素分析で計算される。有限要素メッシュは、幾何学モデル501から導出することができる。面記述は、従来技術および本発明の要素の両方を使用して、ステップ505で簡略化される。本発明からの要素は、ステップ509からの色属性が面に結び付けられる場合、および表示のフリッジ・モードが選択される場合に、ステップ503で組み込まれる。本発明のこれらの要素を、図9ないし13で説明する。本発明のもう1つの特徴は、ワイヤフレーム記述を更新する（ステップ506）ために面記述の簡略化（ステップ505）を追跡するためのシステムの任意選択の使用である。

【0021】ステップ507で、「ドレーピング」および「注釈簡略化」の技法を使用して、ワイヤフレーム記述をドレーピングする。ステップ506で実行されるワ

イヤフレーム記述の更新を使用して、このプロセスを加速することができる。ステップ507のワイヤフレーム記述および面記述の近似は、その後、ステップ508で、表示のために使用可能になる。

【0022】本発明の鍵になる特徴の1つが、ステップ507での元のワイヤフレーム記述の射影（ドレーピング）をサポートし、案内するためのステップ505の面記述の簡略化の使用である。面記述の簡略化を使用して、簡略化された面へのワイヤフレーム記述のドレーピングを案内する、従来技術の技法はない。次に、ステップ505ないし507で実行される面記述とワイヤフレームのドレーピングおよび簡略化の調整された簡略化の詳細を述べる。

【0023】好ましい実施形態では、ステップ505の面記述のメッシュ簡略化が、ガーランドおよびヘックバートの作業に従う辺縮約動作を繰り返すことによって実行される。除去について次の辺を選択するために、モデルの辺の重要性を評価する目標関数が必要である。図示の実施形態では、ガーランドおよびヘックバートの2次誤差測定基準を使用して、辺縮約のコストを評価する。

【0024】しかし、フリッジ・レンダリング・モードが結果の表示に使用されている場合には、異なる色の三角形に付随する辺の縮約を禁止する。代替案では、そのような辺の簡略化を制限する幾何学的制約を導入する。

【0025】図9ないし13に、有限要素分析の結果によって案内された三角形メッシュの簡略化を示す。図9および図10に、元の三角形メッシュを示す。図11に、簡略化されたメッシュの面を示す。図12および図13に、2つの手法を使用して得られた簡略化された三角形メッシュを示す。この円筒形のモデルには、67680個の三角形が含まれ、簡略化されたモデルは、両方とも16000個の三角形からなる。

【0026】ワイヤフレームのドレーピング手順および簡略化手順は、ステップ507で実行される。ワイヤフレーム記述の頂点を、簡略化された面に射影し、射影された頂点を再接続して、線分の元の外見を保つ。頂点の射影は、任意選択として、モデルの元の面記述の頂点とモデルの簡略化された面記述の頂点の間の対応を維持することによって援助し、加速することができる。

【0027】この頂点写像手順を、図14に示す。頂点の組の間の写像 $f$ は、ステップ506で、次のように維持される。

(1) モデルの元の面記述について、 $f$ に単位写像をセットする。

(2) 辺 $(v_0, v_1)$ が頂点 $v_0$ に縮約された場合には、 $f(v_1) = v_0$ とする。また、 $f(v) = v_1$ であるすべての頂点 $v$ について、 $f(v) = v_0$ とする。

【0028】したがって、頂点 $v$ が簡略化された面記述から除去される場合に、写像 $f$ によって、辺縮約動作のシーケンスの後に頂点 $v$ を用いて識別された簡略化され

た面の頂点  $f(v)$  が追跡される。図14の場合、辺  $(v_1, v_4)$  の縮約の結果として、頂点  $v_4$  が、頂点  $v_1$  を用いて識別され、面記述から除去される。したがって、 $f(v_4) = v_1$  である。辺  $(v_0, v_1)$  の縮約の後に、頂点  $v_1$  も、簡略化された面から除去され、 $f(v_1) = v_0$  になる。第2の辺縮約の結果として、頂点  $v_4$  も、簡略化された面の頂点  $v_0$  を用いて識別される。頂点  $v_1$  は、もはや簡略化された面上にないので、 $f(v_4) = v_0$  になる。

【0029】写像  $f$  によって、簡略化された面記述へのワイヤフレーム記述のドレーピング中の頂点射影動作の計算費用が減る。モデルのワイヤフレーム記述の頂点  $v$  の頂点射影は、簡略化された面記述の頂点  $f(v)$  に付随する三角形のみについて評価される。これらの射影のうちで、頂点  $v$  に最も近い射影が、簡略化された面への頂点  $v$  の射影として選択される。

【0030】好ましい実施形態では、「ドレーピング」を使用して、ワイヤフレーム記述の線分のそれぞれの射影された頂点を再接続する。元の線分の中点と2つの射影された端点によって、平面が定義される。この平面を使用して、簡略化されたメッシュの面に従う新しい線分を作成する。図15に、辺ドレーピング動作を示す。このプロセスの結果は、メッシュの面に幾何学的に従うワイヤフレーム記述の辺の幾何形状の新しい組である。

【0031】辺をドレーピングまたはウォーキングするプロセスで、少なくとも元の注釈と同数の頂点および辺が作られる。簡略化された面上では、複数の三角形が1つに合併されるが、射影された辺の多くが、同一平面であるだけではなく、同一線上でもある。これが、辺簡略化プロセスを必要とする。好ましい実施形態で使用されるアルゴリズムは、「注釈簡略化」である。これによって、外見に大きく影響せずに、注釈のトポロジが変更される。レンダリングのためには、辺が、面記述を貫通せずにその近くにとどまり、平面内の辺の位置誤差が、はるかに目立たないことが重要である。この手法は、有効非対称許容範囲に基づく。ウォーキングされる辺のそれぞれについて、非対称許容範囲ウィンドウを構成する。隣接する辺の簡略化は、許容範囲ウィンドウの平面への端点の射影と、簡略化された辺に沿ってスライドする際の許容範囲ウィンドウのピボット回転によって案内される。これによって、簡略化された面記述に垂直な方向よりもその面に沿ったより大きい辺簡略化が可能になり、面に従いながら元の注釈よりはるかに少数の辺を含む簡略化された注釈が作られる。

【0032】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0033】(1) 幾何学モデルのレンダリングを加速するコンピュータ・システムであって、1つまたは複数の中央処理装置(CPU)、1つまたは複数のメモリ、および1つまたは複数のレンダリング装置と、前記メモ

リの1つまたは複数に保管される前記幾何学モデルの面記述と、前記メモリの1つまたは複数に保管される前記幾何学モデルのワイヤフレーム記述と、簡略化された面記述を作成するために前記面記述の近似を作成するために前記面記述を変更する面簡略化プロセスと、簡略化されたワイヤフレーム記述を作成するために、前記簡略化された面記述に前記ワイヤフレーム記述をドレーピングし、その後、前記ドレーピングされたワイヤフレーム記述の1つまたは複数の線分を簡略化する、ワイヤフレーム・ドレーピング・プロセスと、前記簡略化されたワイヤフレーム記述をレンダリングするディスプレイを含むコンピュータ・システム。

(2) 前記ワイヤフレーム記述が、有限要素メッシュ内の要素の1つまたは複数の辺と、表面法線、テクスチャ座標、および色という属性のうちの1つまたは複数の辺にまたがる属性の不連続性を強調する1つまたは複数の辺とのうちの1つまたは複数を表す、上記(1)に記載のシステム。

(3) 前記面簡略化プロセスが、ガーランドおよびヘックバートの方法、ロシニャックおよびボレルの方法、リンドストロムおよびタークの方法、リンドストロムの方法、および幾何学的簡略化プロセスの1つまたは複数を含む、上記(1)に記載のシステム。

(4) 前記面簡略化プロセスが、フリッジ・モード表示で使用される1つまたは複数の属性によって制限される、上記(1)に記載の方法。

(5) 前記ワイヤフレーム・ドレーピング・プロセスが、前記面記述の前記簡略化中の1つまたは複数の辺縮約に関連する頂点識別を追跡することによって加速される、上記(1)に記載のシステム。

(6) 前記簡略化されたワイヤフレーム記述および前記簡略化された面記述が、前記ディスプレイ上に一緒にレンダリングされる、上記(1)に記載のシステム。

(7) 幾何学モデルのレンダリングを加速する方法であって、前記幾何学モデルの面記述を保管するステップと、前記幾何学モデルのワイヤフレーム記述を保管するステップと、簡略化された面記述を作成するために前記面記述を近似するステップと、前記簡略化された面記述に前記ワイヤフレーム記述をドレーピングするステップと、簡略化されたワイヤフレーム記述を作成するために、前記ドレーピングされたワイヤフレーム記述の1つまたは複数の線分を簡略化するステップとを含む方法。

(8) 前記簡略化されたワイヤフレーム記述をレンダリングするステップをさらに含む、上記(7)に記載の方法。

(9) 各々の頂点に付随する1つまたは複数の三角形の上だけへの前記ワイヤフレーム記述の1つまたは複数の頂点の射影を評価するステップをさらに含む、上記(7)に記載の方法。

(10) 幾何学モデルのレンダリングを加速するコンピ

ユータ・システムであって、前記幾何学モデルの面記述を保管するための手段と、前記幾何学モデルのワイヤフレーム記述を保管するための手段と、簡略化された面記述を作成するために前記面記述を近似するための手段と、前記簡略化された面記述に前記ワイヤフレーム記述をドレーピングするための手段と、簡略化されたワイヤフレーム記述を作成するために、前記ドレーピングされたワイヤフレーム記述の1つまたは複数の線分を簡略化するための手段とを含むシステム。

(11) コンピュータ・プログラムであって、該プログラムが、幾何学モデルの面記述を保管するステップと、前記幾何学モデルのワイヤフレーム記述を保管するステップと、簡略化された面記述を作成するために前記面記述を近似するステップと、前記簡略化された面記述に前記ワイヤフレーム記述をドレーピングするステップと、簡略化されたワイヤフレーム記述を作成するために、前記ドレーピングされたワイヤフレーム記述の1つまたは複数の線分を簡略化するステップとをコンピュータに実行させるプログラム。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を実施する好ましいシステムのブロック図である。

【図2】従来技術を使用する、幾何学モデルの面記述と同一のモデルのワイヤフレーム記述の同時レンダリングを示す図である。

【図3】通常の技術によって表示されたモデルを示す図である。

【図4】通常の技術によって表示されたモデルを示す図である。

【図5】本発明によって表示されたモデルを示す図である。

【図6】本発明によって表示されたモデルを示す図である。

【図7】本発明を実施する好ましいアプリケーションの概要を示す図である。

【図8】本発明の実施形態による、表示のための幾何学モデルの面記述およびワイヤフレーム記述の調整された

簡略化の詳細を示す流れ図である。

【図9】元の面記述を使用して作成されたフリンジ・モード表示を示す図である。

【図10】三角形分割された面を用いて作成されたフリンジ・モード表示を示す図である。

【図11】簡略化された面記述を使用するフリンジ・モード表示を示す図である。

【図12】境界に対する簡略化が実行されていない、簡略化された面のフリンジ・モード表示を示す図である。

【図13】境界に対する追加の幾何学的制約によって簡略化が支援された、簡略化された面のフリンジ・モード表示を示す図である。

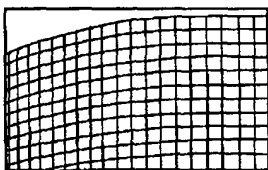
【図14】一連の辺縮約動作中の頂点写像手順を示す図である。

【図15】線分ドレーピング動作を示す図である。

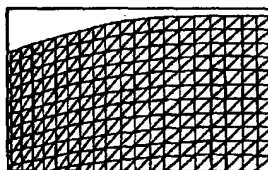
【符号の説明】

- 101 コンピュータ
- 102 CPU
- 103 グラフィックス・プロセッサ
- 104 メモリ
- 105 内部バス
- 106 入出力サブシステム
- 107 グラフィックス・アクセラレータ
- 108 ディスプレイ
- 401 幾何学モデル
- 402 有限要素法分析の結果
- 403 アプリケーション固有パラメータ
- 404 アプリケーション表示ロジック・ユニット
- 405 シンプリファイヤ
- 406 ディスプレイ装置
- 407 面簡略化モジュール
- 408 線分簡略化モジュール
- 501 幾何学モデル
- 502 有限要素分析
- 503 幾何学モデルまたは有限要素メッシュの面記述およびワイヤフレーム記述
- 510 有限要素メッシュ

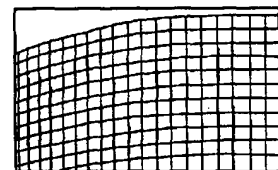
【図9】



【図10】

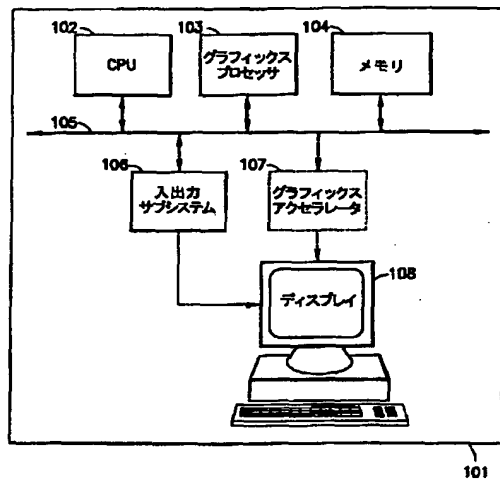


【図11】

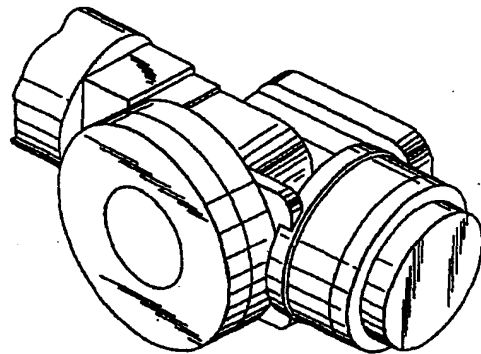




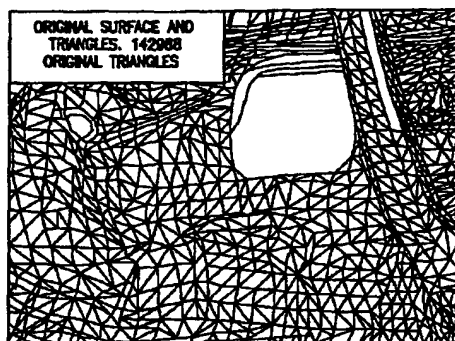
【図1】



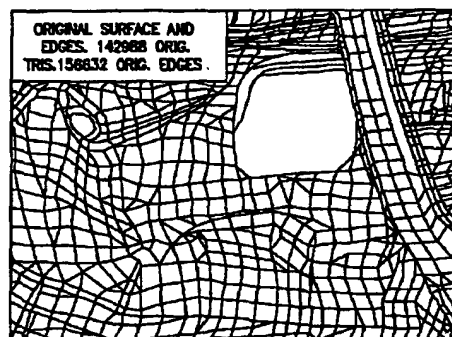
【図2】



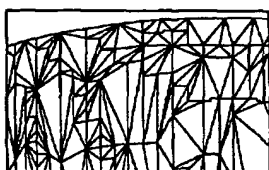
【図3】



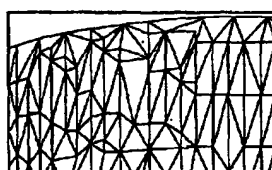
【図4】



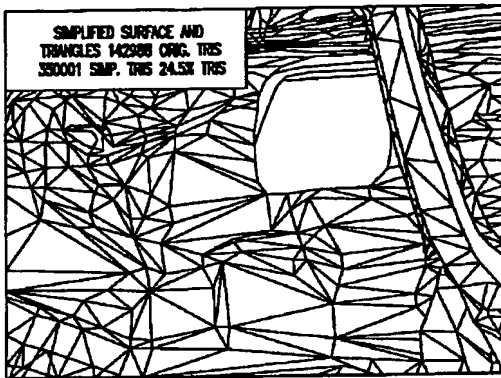
【図12】



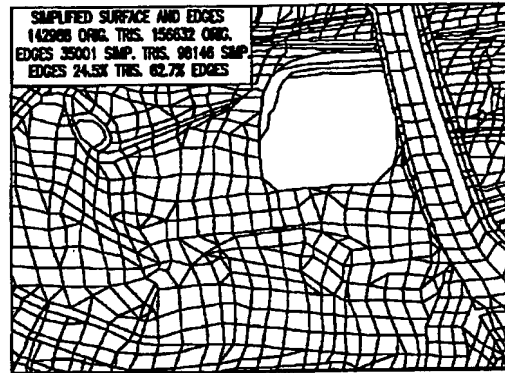
【図13】



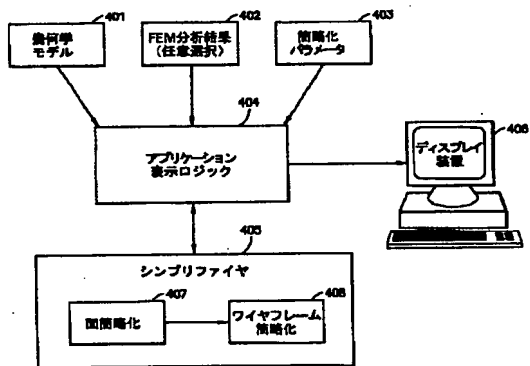
【図5】



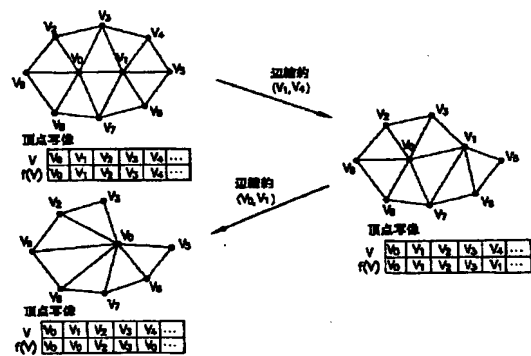
【図6】



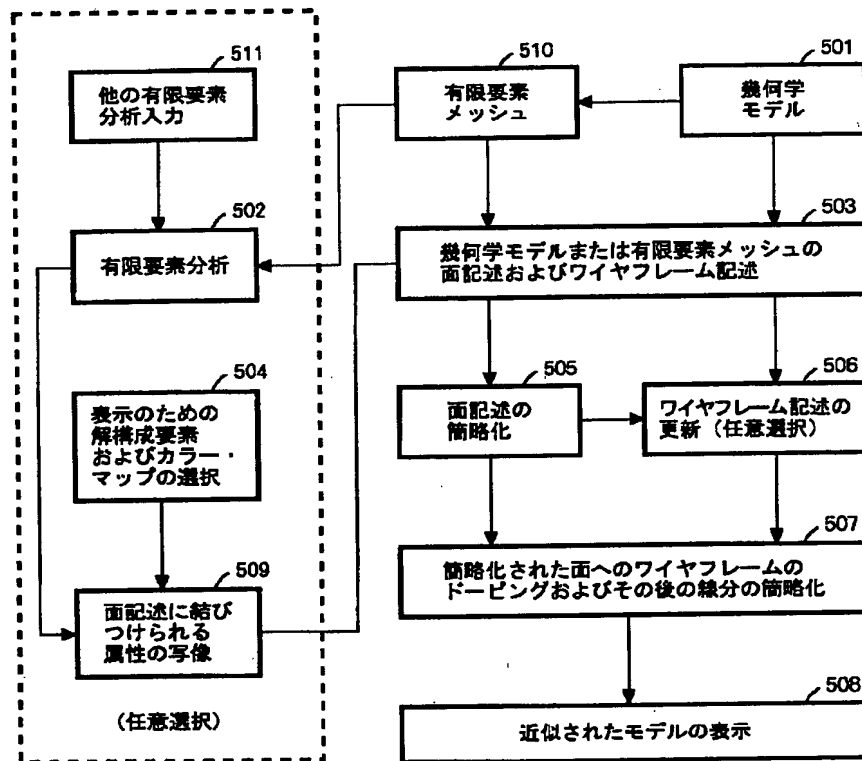
【図7】



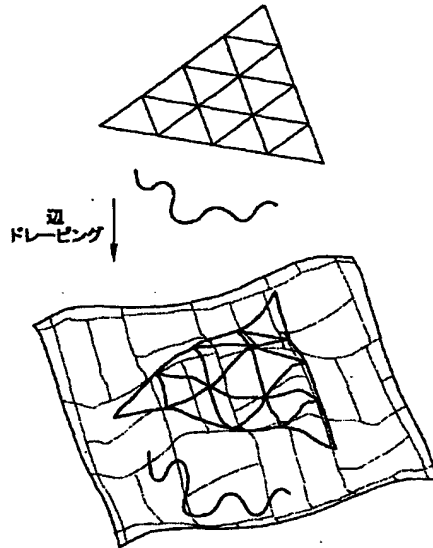
【図14】



【図8】



【図15】



## フロントページの続き

(72)発明者 ユリア・アナトリエーブナ・ヴァルイエヴァ  
 ア  
 アメリカ合衆国10605 ニューヨーク州ホ  
 ワイト・プレーンズ オークウッド・アベ  
 ニュー 25 アパートメント 2  
 (72)発明者 ジェームズ・ティー・クロソフスキ  
 アメリカ合衆国10580 ニューヨーク州レ  
 イ セオドア・フレムド・アベニュー  
 160 アパートメント 812

(72)発明者 フランク・スィーツ  
 アメリカ合衆国10524 ニューヨーク州ガ  
 リンソン アペリー・ドライブ 150  
 (72)発明者 ジェラルド・レシナ  
 フランス92150 シュレズネ (オードセー  
 ヌ) リュ・デ・ムリノー 28  
 Fターム(参考) 5B046 AA05 CA04 FA18 GA01 JA08  
 5B080 AA01 AA08 AA18 CA01 CA05